

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки**

# **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

**ДО БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ НА ТЕМУ:**

**«Програмоване джерело живлення лантан-боридного  
катоду електронного мікроскопу»**

**Завідуючий кафедри**

**Опанасюк А.С.**

**Дипломний керівник**

**Кібець В.А.**

**Виконав студент**

**Полив'яний Я. І.**

**Суми 2020**

Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра ЕКТ  
Спеціальність 6.050802 „Електронні пристрої та системи”

Затверджую:  
Зав.кафедрою Опанасюк А. С.  
„\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2020р.

**ЗАВДАННЯ**  
на дипломний проект (роботу) студента

Полив'яного Ярослава Ігоровича

1. Тема проекту (роботи) „Програмуєме джерело живлення лантан-боридного катоду електронного мікроскопу”, затверджена наказом по університету від „\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 12.06.2020г.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці 1. Огляд літератури і постановка задачі проектування. 2. Розробка алгоритму та структурної схеми системи. 3. Розробка функціональної схеми системи. 4. Розробка і розрахунок принципової схеми системи. 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
1. Креслення схеми алгоритму. 2. Креслення схеми електричної структурної. 3. Креслення схеми електричної функціональної.  
4. Креслення схеми електричної принципової.

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ п/ п	Найменування етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Обзор літератури по вибраному направленню проектування	25.03.2020	
2	Розробка алгоритму функціонування системи	12.04.2020	
3	Розробка структурної схеми, що реалізує алгоритм	18.04.2020	
4	Розробка функціональної схеми системи	22.04.2019	
5	Розробка та розрахунок принципової схеми	4.05.2020	
6	Висновки	5.05.2020	
7	Оформлення пояснювальної записки	10.05.2020	
8	Розробка та оформлення графічної частини проекту	20.05.2020	
9	Представлення проекту на рецензування	30.05.2020	
10	Представлення проекту на кафедру	31.05.2020	

Студент-дипломник \_\_\_\_\_

Керівник проекту \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: стор., 23 рисунка, 5 таблиць, 16 джерел літератури.

Об'єкт розробки - програмуєме джерело живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопу.

Графічна частина містить 4 креслення: схема алгоритму функціонування джерела живлення, структурна схема джерела живлення, функціональна схема джерела живлення, схема електрична принципова джерела живлення.

В дипломній роботі розробляється джерело живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопу, що здійснює стабілізацію струму нитки накала з керуванням за допомогою ЕОМ.

Пояснювальна записка містить вступ, основний розділ, висновок і список використаної літератури.

Основний розділ - спеціальна частина, де аналізується за літературними джерелами шляхи і способи реалізації пристрою, розробляється алгоритм функціонування, структурна, функціональна, а також принципова схема пристрою, підбирається елементна база.

Ключові слова: джерело живлення, мікроконтролер, лантан-боридний катод.

## ЗМІСТ

Вступ .....	
1 Спеціальна частина .....	
1.1 Огляд літератури та постановка задачі проектування джерела живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопу .....	
1.2 Розробка і обґрунтування алгоритму функціонування джерела живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопу .....	
1.3 Розробка та обґрунтування структурної схеми джерела живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопу .....	
1.4 Розробка схеми електричної функціональної джерела живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопу .....	
1.5 Розробка і розрахунок принципів електричних схем вузлів і блоків джерела живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопу .....	
1.5.1 Вибір елементної бази .....	
1.5.2 Розрахунок і синтез основних електричних вузлів, блоків, схем управління.....	
Висновки.....	
Література.....	
Додаток.....	

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Програмоване джерело живлення лантан-боридного катода електронного мікроскопу Пояснювальна записка			Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Полив'янич									
Провер.	Кібець									
Н. Контр.	Галич									
Утверд.	Опанасюк				СумГУ, ЕС <sub>ДН-51П</sub>					

## ВСТУП

Електроніка - галузь сучасної фізики і електротехніки. Вона займається вивченням і використанням явищ, приладів і систем, основою яких є проходження електричного струму у вакуумі, газі та твердому тілі, дослідження, розробка електронних засобів і систем і принципів їх використання. Обмін інформацією в електронних системах здійснюється за допомогою сигналів, носіями яких можуть бути різні фізичні величини - струми, напруги, магнітні стану, світлові хвилі.

Промислова електроніка - це область електроніки, що займається застосуванням напівпровідникових, електронних і іонних приладів в промисловості. Незважаючи на відмінність областей застосування і різноманіття режимів роботи промислових електронних пристроїв, вони будуються на основі загальних принципів і складаються з обмеженого числа функціональних вузлів - електронних схем.

Промислова електроніка ділиться на дві великі області: інформаційна електроніка та енергетична електроніка.

Інформаційна електроніка займається пристроями для передачі, обробки і відображення інформації. Підсилювачі напруги, генераторів напруг різної форми, логічні схеми, лічильники, індикаторні пристрої і дисплеї обчислювальних машин - все це устрою інформаційної електроніки. Характерними рисами сучасної інформаційної електроніки є складність і різноманіття вирішуваних завдань, високу швидкість і надійність. Інформаційна електроніка нині нерозривно пов'язана із застосуванням інтегральних мікросхем.

Енергетична електроніка (перетворювальна техніка) займається перетворенням одного виду електричної енергії в інший. Велика частина перетворень електричної енергії в даний час виконується напівпровідниковими перетворювачами. Основні види перетворювачів: випрямлячі (перетворення змінного струму в постійний), інвертори (перетворення постійного струму в змінний), перетворювачі частоти, регульовані перетворювачі постійного і змінного напруг. Розвиток електроенергетики та електротехніки тісно пов'язане з електронікою.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

Складність процесів в енергосистемах, висока швидкість їх протікання зажадали широкого впровадження для розрахунку режимів та управління процесами електронно-обчислювальних машин, пов'язаних з системою складними електронними пристроями і забезпечених різними пристроями для відображення інформації. Основні процеси виробництва автоматизуються на основі сучасних пристроїв інформаційної електроніки, в яких в останні роки широко застосовуються інтегральні мікросхеми і мікропроцесори.

Саме системи управління з мікропроцесорами і мікроконтро-Ллерена, що дають можливість реалізувати складні закони управління електронними приладами, займають важливе місце схемотехніке електронних систем.

Використання мікроконтролерів у виробах призводить не тільки до підвищення техніко-економічних показників (вартості, надійності, споживаної потужності, габаритних розмірів), але і дозволяє скоротити час розробки виробів і робить їх модифікується, адаптивними. Використання мікроконтролерів в системах управління забезпечує досягнення високих показників ефективності при низькій вартості.

Мікроконтролери являють собою ефективний засіб автоматизації різноманітних об'єктів і процесів.

Виконання функціональних вузлів електронної апаратури на напівпровідникових приладах та інтегральних мікросхемах дало можливість істотно зменшити габарити і масу основних блоків апаратури.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

## 1 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Короткий огляд літератури і постановка задачі проектування джерела живлення для лантан-боридного катоду електронного мікроскопу

Найбільш популярні топології базових схем джерел живлення і їх керуючі сигнали показані на рисунках 1.1, 1.2, і 1.3. У перетворювачах постійної напруги, основу яких складають схеми понижуючого, підвищуючого і інвертуючого перетворювачів (рисунок 1.1), регулювання і стабілізація вихідної напруги або струму здійснюється шляхом модуляції струму дроселя (реактора) за допомогою двохпозиційного ключового елемента (на практиці зазвичай це або транзистор і діод, як показано на рисунку 1.1, або два транзистора). Шляхом зміни співвідношення часу замкнутого ( $t_{\text{on}}$ ) і розімкнутого ( $t_{\text{off}}$ ) станів ключового елемента здійснюється необхідне перетворення вхідних напруги і струму.

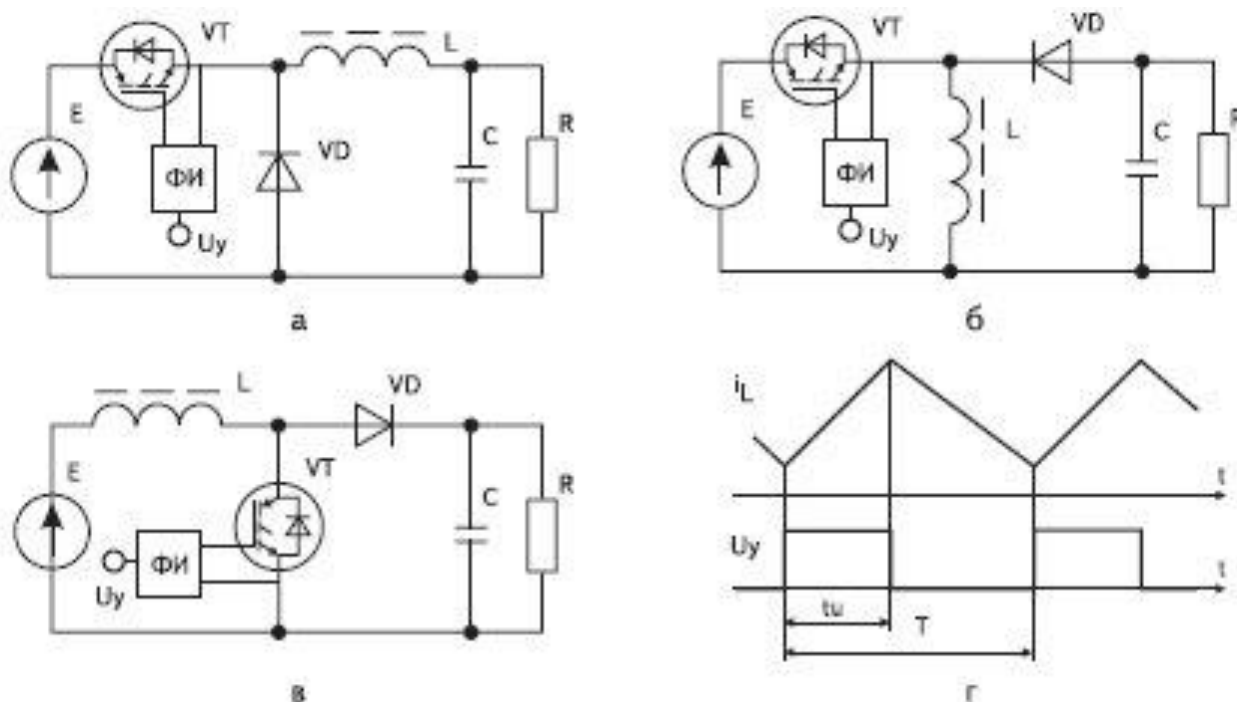


Рисунок 1.1 – Перетворювачі постійної напруги (а – понижуючий, б – інвертуючий, в – підвищуючий, г – залежність струму індуктивності від управляючої напруги)



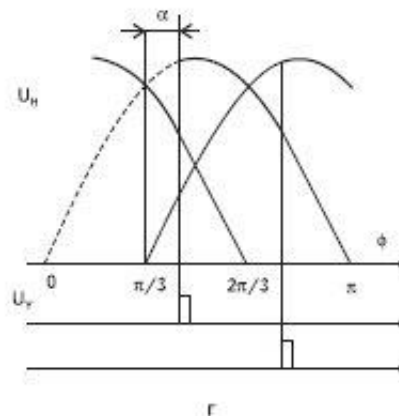
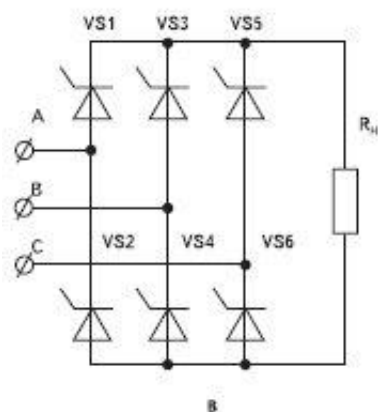
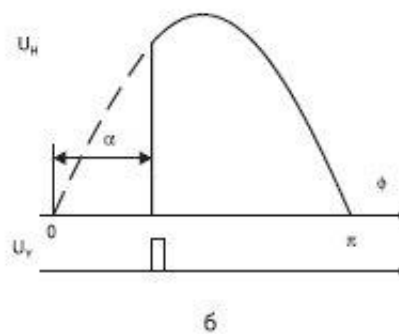
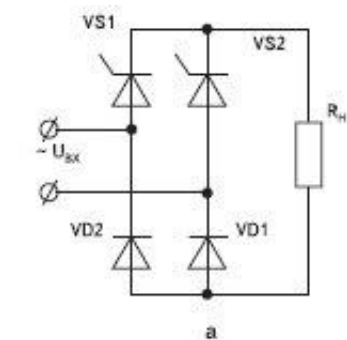


Рисунок 1.2 – Перетворювачі змінної напруги в постійну - випрямлячі (а - однофазний, в - трифазний, б і г - залежність напруги навантаження від напруги управління)

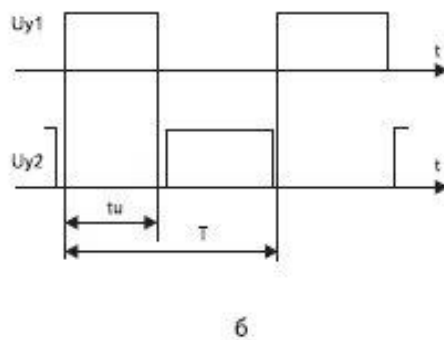
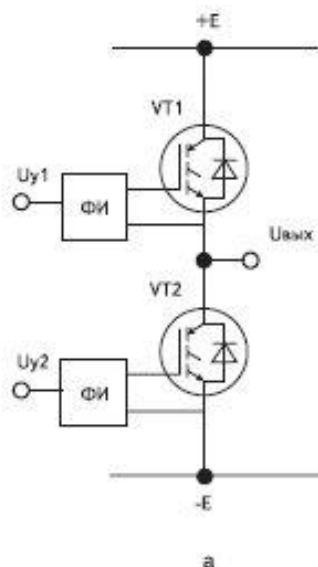


Рисунок 1.3 – Двохпозиційний ключовий елемент і діаграми його роботи.

Найчастіше використовується модуляція на фіксованій частоті роботи

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

ключа, відома як широтно-імпульсна модуляція ( $T = \text{const}$ ,  $t_i = \text{var}$ ). Рідше застосовуються частотна (ЧИМ) і комбінована (ЧШИМ) види модуляцій.

Широтно-імпульсний метод регулювання на зниженій частоті ґрунтується на зміні числа періодів змінної напруги, що підводиться до навантаження. Цей метод дозволяє здійснити регулювання потужності в нагрзуці в діапазоні від  $U_2 / R_H$  до нуля. Його недоліком є присутність гармонійних коливань в струмі мережі з частотами нижче 50 Гц, що обумовлюється імпульсним характером споживання енергії від мережі. Зазначений недолік в значній мірі послаблюється при живленні від загальної мережі змінного струму групи з кількох перетворювачів, коли відсутність споживання струму одним перетворювачем компенсується споживанням струму другими перетворювачами.

Перетворювачі постійної напруги призначені для зміни значення постійної напруги. Вони служать для живлення навантаження постійною напругою  $U_H$  відрізняється за величиною від напруги джерела  $E$  (рисунок 1.4, а). При цьому іноді необхідно стабілізувати напругу  $U_H$  при зміні напруги джерела і струму навантаження або змінювати напругу  $U_H$  за певним законом незалежно від  $E$ .

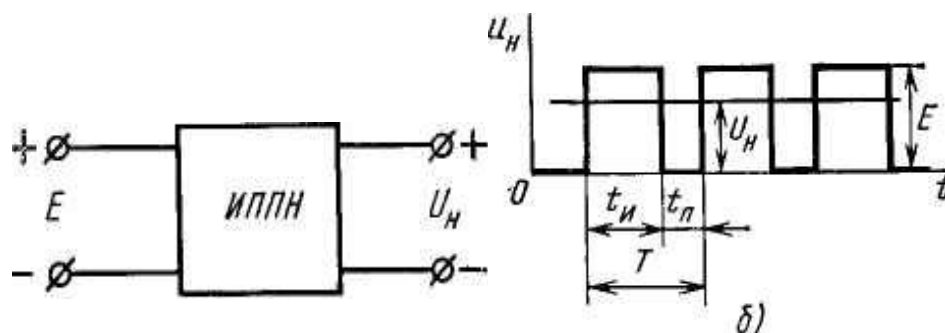


Рисунок 1.4 – Імпульсний перетворювач постійної напруги (а) і його крива вихідної напруги (б)

Імпульсні перетворювачі засновані на використанні імпульсних методів перетворення і регулювання постійної напруги, тому їх називають імпульсними перетворювачами постійної напруги (ІППН).

Вихідна напруга таких перетворювачів характеризується послідовністю імпульсів прямокутної форми з тривалістю  $t_i$  і паузою  $t_p$ , амплітуда

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

яких близька до напруги живлення  $E$  (рисунок 1.4, б). Вихідна напруга перетворювача характеризується середнім значенням  $U_H$ . Необхідної якості вихідної напруги, з точки зору пульсацій, тут домагаються так само, як і в випрямлячах, включенням між виходом перетворювача і навантаженням фільтра, що згладжує.

В основі принципу дії ІППН лежить ключовий режим роботи регулюючого напівпровідникового приладу, який здійснює періодичне підключення напруги живлення  $E$  до вихідного ланцюга перетворювача. Малі падіння напруги на приладі регулювання у відкритому стані і протікаючий струм в закритому обумовлюють високий ККД розглянутих перетворювачів. Їх здатність регулювати вихідну напругу використовують при побудові регуляторів і стабілізаторів постійної напруги. ІППН широко застосовують також в електроприводі для управління частотою обертання двигунів постійного струму. У цьому випадку схема перетворювача повинна забезпечувати управління не тільки потужністю, що віддається джерелом харчування в навантаження, але і потужністю від навантаження в джерело живлення, що необхідно, зокрема, при рекуперативному гальмуванні двигуна постійного струму.

Живлючою напругою ІППН можуть служити, наприклад, контактна мережа постійного струму міського або магістрального електрифікованого транспорту, а також різні джерела постійного струму: акумуляторні батареї, паливні елементи, сонячні батареї і т.д. Завдання регулювання постійної напруги за допомогою ІППН можна вирішувати і при первинній мережі живлення змінного струму. У цьому випадку на вході ІППН включають некерований випрямляч. Система некерований випрямляч - ІППН є конкуруючим варіантом керованого випрямляча.

Широтно-імпульсний метод регулювання (ШІР) здійснюється зміною тривалості (ширини) вихідних імпульсів  $t_H$  (рисунок 1.4, б) при незмінному періоді їх слідування ( $T = \text{const}$ ,  $f = 1 / T = \text{const}$ ).

Середнє значення вихідної напруги перетворювача при широтно-імпульсному регулюванні пов'язано з напругою живлення

$$U_H = \frac{t_H}{T} \cdot E = \gamma \cdot E$$

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

(1.1)

$$U_H = \frac{t_n}{T} \cdot E = t_n \cdot f \cdot E.$$

(1.2)

Вихідній напрузі, рівному  $E$ , тут відповідає гранична частота проходження імпульсів, що дорівнює  $1 / t_n$ , а нульового вихідного напрузі - нульова частота  $f \rightarrow 0$ . Спільне використання ШПР і ЧПР (комбіноване регулювання) полягає в зміні двох параметрів вихідних імпульсів:  $t_n$  і  $f$ .

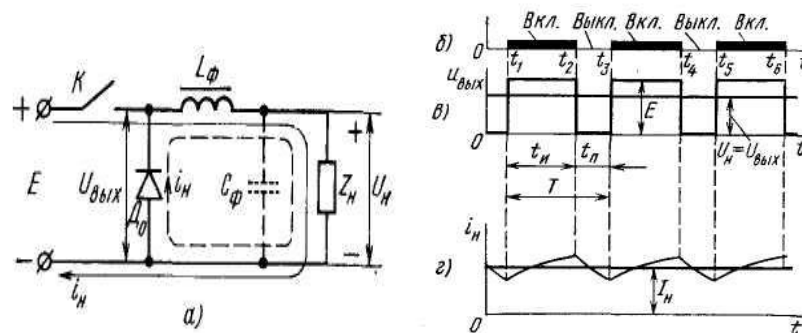


Рисунок 1.5 – Схема основних ланцюгів ШПН (а) і його тимчасові діаграми

Регулюючий елемент умовно показаний у вигляді ключа, функцію якого зазвичай виконує тиристор (або силовий транзистор).

У вихідний ланцюг перетворювача входить навантаження  $Z_n$  активно-індуктивного характеру і при необхідності згладжує L-фільтр (дросель  $L_\phi$ ). Застосування дроселя в ШПН з відповідною індуктивністю зазвичай є достатнім для згладжування вихідної напруги (тока), хоча в загальному випадку не виключає і більш складні згладжуючі фільтри, наприклад Г-подібний LC-фільтр (конденсатор  $C_\phi$  такого фільтра показаний пунктиром). Діод  $D_o$ , включений у зворотному напрямку відносно напруги вихідного ланцюга (зворотній діод), є необхідним елементом схеми і призначений для створення в ній контуру протікання струму нагрз-кі при розімкнутому ключі К.

Розглянемо процеси, що протікають в такому перетворювачі. Для цього скористаємося тимчасовими діаграмами, наведеними на рисунку 1.5, б-г. На

інтервалах включеного стану ключа ( $t_1-t_2$ ,  $t_3-t_4$ ,  $t_5-t_6$ ) напруга живлення  $E$  підключається до входу фільтра, що згладжує (рисунок 1.5, а-в),  $u_{aix} = E$ , діод До закритий. Через навантаження протікає струм  $i_n$  (показаний суцільною лінією) від джерела живлення. На інтервалах відключеного стану ключа ( $t_2-t_3$ ,  $t_4-t_5$ ) зв'язок вихідний ланцюга з джерелом живлення відсутній, проте струм через навантаження продовжує протікати (рисунок 1.5, г). Він підтримується енергією, накопиченої реактивними елементами - дроселем  $L_\phi$  і індуктивністю навантаження  $L_n$  на інтервалі протікання струму від джерела харчування. Струм навантаження  $i_n$  замикається через провідний зворотний діод До, внаслідок чого  $U_{вих} = 0$ . Без урахування падінь напруги на активних опорах дроселя  $L_\phi$  і підвідних проводах напруга на навантаженні  $U_n = U_{вих}$ , яке визначається середнім значенням  $U_{вих}(t)$ , знаходять за формулою (1.1) або (1.2). Струм  $I_n$  складається з ділянок експонент. У більшості випадків від системи управління потрібно сформулювати ряд синхронізованих або по відношенню один до одного, або до зовнішнього сигналу послідовностей імпульсів, в яких частота, тривалість імпульсу, паузи або взаємного фазового зсуву змінюється в функції керуючого впливу.

Мікроконтролери також широко застосовуються в системах управління джерелами живлення, і саме на базі мікроконтролера обрана реалізація проектного пристрою.

Значна частина джерел живлення в даний час конструюється на основі схем імпульсних перетворювачів напруги або струму. В першу чергу це обумовлено більш високим коефіцієнтом корисної дії таких пристроїв в порівнянні з лінійними джерелами живлення, а також більш високими питомими характеристиками: меншою масою і фізичним обсягом джерела при більшій переданій потужності.

Мікроконтролери широко застосовуються в системах управління джерелами живлення, причому, в залежності від необхідної частоти роботи силових ключів, або весь регулятор будується на основі контролера, або він працює в зв'язці з аналоговим широтно-імпульсним модулятором, виступаючи в якості «повільної» корекції в контурі зворотного зв'язку.

Оскільки проектується джерело живлення для лантан-боридних катодів, розглянемо характеристики боридних катодів, їх нагрівання і застосування.

**Боридні катоди.** По провідності, роботі виходу і температурі плавлення боридні катоди можуть бути емітерами. Але температура, необхідна для емісії - порядку 1500-1700°C - досить велика. До моменту відкриття боридних катодів в техніці вже використовувався катод з чистого вольфраму (він, власне, був першим катодом). Нагріти до 2500°C металеву нитку неважко, і зробити нитку з вольфраму відносно легко. Інша річ - бориди, нитки з яких навчилися робити порівняно недавно. Це кристалічна речовина, яку можна розтовкти в порошок, так чи інакше покрити цим порошком метал і спекти порошкове покриття (власне, так і робляться боридні катоди). Можна також спробувати вирізати з кристалу борида якийсь стрижень або трубку і нагріти її, пропустивши струм. Вийде прямонакальний катод, а покриття на металі можна або нагрівати непрямым напруженням, або знову ж використовувати як прямонакальний катод.

Важливе питання фізики гексаборидів - гексаборид якого саме металу або металів використовувати. Одним з мотивів додавання металів до лантану був мотив технологічний. Порошок LaB<sub>6</sub> погано спікається, як всякий тугоплавкий матеріал з малою швидкістю випаровування. Тому для полегшення спікання емітерів з порошку LaB<sub>6</sub> (вирощування кристалів діаметром більше 8-10 мм не освоєно, а спіканням серійно вироблялися катоди діаметром до 50 мм) до порошку LaB<sub>6</sub> додавався порошок металу. Такий прийом взагалі часто застосовується в техніці, і додається речовина яка називається активатором спікання.

Технологічних варіантів у LaB<sub>6</sub>-катода небагато. Практично маленькі (до 8 мм) катоди можна вирізати з монокристала, великі - зазвичай отримують або гарячим пресуванням з порошку в вуглецевих формах або / і спіканням, LaB<sub>6</sub>-покриття на підкладках - спіканням. У всіх випадках важливим є зміст домішок. **Параметри LaB<sub>6</sub>-катодів.** Токовідбір при 1400-1500-1600-1700°C становить для катодів максимум 1-3-10-30 А / см<sup>2</sup> відповідно. Мінімальні значення, отримані в дослідженнях, приблизно в 2 рази менше, а реально застосовувані в приладах - ще рази в 2-3 менше. Це пов'язано як з

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

необхідністю мати в приладах запас емісії для збільшення стабільності, так і з умовами роботи катода в приладі.

Термін служби катодів зазвичай визначається руйнуванням контактів між LaB6 і власником. В якості власника найчастіше застосовують тантал і графіт; пропонувалися також реній, карбіди, бориди, нітриди, навіть оксиди (ті, які при робочій температурі мають достатню провідність). Досягнутий термін служби - 1000 годину. при 1600°C, 200 годину. при 1700°C, 30 год. при 2000°C. Швидкість випаровування при 1500-1700-2000°C становить відповідно  $3 \cdot 10^{-10}$ - $3 \cdot 10^{-8}$ - $3 \cdot 10^{-5}$  г / см<sup>2</sup>.с.

Нагрівання катодів. До якої температури нагрівають катод, залежить від параметрів матеріалу (роботи виходу і енергії випаровування), з іншого боку - від вимог до емісії і терміну служби. Діапазон температур застосування LaB6-катодів такий: 1400-1700°C. Проблеми нагріву катодів до цих температур можна розділити на наступні:

- загальні проблеми нагріву;
- проблеми нагріву в вакуумі;
- специфічно катодні проблеми.

Загальні проблеми нагріву - це забезпечення «заданого профілю температури», тобто заданих температур на заданій геометричній поверхні (емітує поверхні катода), часу нагрівання і терміну служби.

Другим завданням є забезпечення малого часу розігріву. Час розігріву дорівнює відношенню теплоємності катода до потужності нагрівача. Аналітичне визначення його досить складно, тому що, по-перше, в процесі розігріву частина потужності - і чим далі, тим більша - витрачається на тепловідвід від катода, по-друге, в процесі нагрівання потужність не залишається постійною. При фіксованих характеристиках джерела живлення зменшувати час розігріву можна, або зменшуючи масу вузла, що в підсумку вступає в протиріччя з характеристиками міцності міркуваннями, або намагаючись застосовувати матеріали з високим відношенням міцності до питомої теплоємності. Зауважимо, що час розігріву є важливою конкурентною параметром катодів, бо напівпровідникові прилади мають миттєву готовність до роботи. Для термокатодом отримати час розігріву менше 10 з складно, менше 1 с - дуже складно. Рекордні значення - це десятки

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

частки секунд, причому все це при малих габаритах. При великих габаритах (1-10 см) час розігріву може досягати декількох хвилин.

Наступною проблемою є опір нагрівача. Справа в тому, що задану потужність можна реалізувати при будь-якому опорі нагрівача шляхом вибору відповідного напруги (або струму) напруження. Але технічно незручні як напруги більш кіловольта (зростає ризик пробоїв, вимоги до безпеки), так і струми більше сотень ампер (потрібні товсті підводящі шини, ростуть втрати в комутаційних пристроях і їх габарити). Тому опір нагрівачів має перебувати в певних межах.

Слід звернути увагу також на збереження розмірів. При нагріванні майже всі матеріали зворотньо розширюються. Це саме по собі не є небезпечним, але при нагріванні, по-перше, в деяких випадках виникають незворотні деформації, якщо діапазон зміни температури захоплює точку фазового переходу. По-друге, якщо конструкція не допускає вільного розширення деталей або якщо воно теоретично можливо, але відбуваються «заклинювання», то деталі або руйнуються, або деформуються в непередбаченому напрямку і вельми сильно. Небезпечні, очевидно, торкання елементів нагрівача, що знаходяться під різним потенціалом, або елементів нагрівача і екранів. Для нагрівачів катодів ця проблема ускладнюється ще й тим, що, як правило, їх намагаються зробити менших габаритів.

В даному випадку джерело на кристалі  $\text{LaB}_6$  має чітке огранювання, характерне для кубічної решітки з орієнтацією 001 (рисунок 1.6).

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		



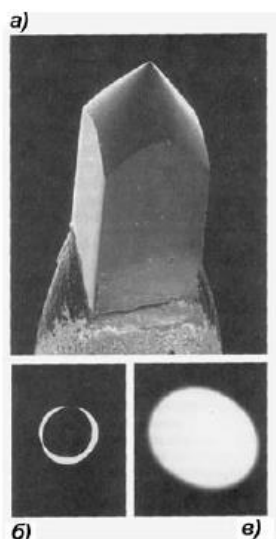


Рисунок 1.6 – Режими роботи LaB<sub>6</sub>-джерела: а) зовнішній вигляд нитки; б) недонасичений і зорієнтований; в) в насиченні

При роботі з LaB<sub>6</sub>-джерелом необхідно пам'ятати, що кристал LaB<sub>6</sub> недостатньо стійкий щодо теплових ударів, тому нагрівання та охолодження кристала необхідно проводити повільно (рекомендуються кілька пауз 10-20 секунд).

**Використання LaB<sub>6</sub>-катодів.** При роботі з LaB<sub>6</sub>-джерелом необхідно пам'ятати, що кристал LaB<sub>6</sub> недостатньо стійкий щодо теплових ударів, тому нагрівання та охолодження кристала необхідно проводити повільно (рекомендуються кілька пауз 10-20 секунд) [13].

Таблиця 1.1 – Параметри електронних джерел

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

	Единицы	Вольфрам	LaB <sub>6</sub>
Работа выхода, Ф	эВ	4.5	2.4
Конст. Ричардсона, А	А/м <sup>2</sup> К <sup>2</sup>	6 10 <sup>5</sup>	4 10 <sup>5</sup>
Рабочая температура	К	2700	1700
Пл. тока	А/м <sup>2</sup>	5 10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>
Размер кроссовера	μм	50	10
Яркость	А/м <sup>2</sup> стеррад	10 <sup>9</sup>	5 10 <sup>10</sup>
Енергетич. розброс	эВ	3	1.5
Стабильность эмиссионного тока	% час	<1	<1
Вакуум	Па	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-4</sup>
Долговечность	час	100	500

Завданням проектного пристрою на базі мікроконтролера є стабілізація і управління струмом нитки накалу, тобто стабілізація зазначеної величини в межах, обумовлених в технічному завданні. Також проектоване джерело живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопа, згідно із завданням, повинно забезпечувати управління включенням блоку низьковольтної напруги, м'яке включення / вимикання прискорюючої напруги. Для вимірювання температури нитки розжарення буде використовуватися термодатчик. Управління всією системою, враховуючи науково-технічний прогрес і технічні вимоги, неможливо уявити собі без ЕОМ, тому для зв'язку з пристроєм на мікроконтролері використовується послідовний (COM) порт комп'ютера.

Таким чином, тема дипломного проекту: «Програмоване джерело живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопу».

## 1.2 Розробка і обґрунтування алгоритму функціонування джерела живлення для лантан-боридних катодів електронного мікроскопа

В імпульсних стабілізаторах напруги регулюючий транзистор працює в ключовому режимі (в режимі відсічення або в режимі насичення), тому втрати

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

потужності на ньому мінімальні. Значить, стабілізатор напруги має досить високий ККД, причому ККД зберігає таке значення в широкому діапазоні зміни вхідної напруги і струму навантаження. Змінюючи тривалість імпульсів при незмінному періоді проходження імпульсів, можна змінювати і регулювати напругу на виході.

Тому принцип дії джерела живлення для лантан-боридних катода полягає в тому, що під час зміни вхідного напруги блок управління змінює коефіцієнт заповнення імпульсів таким чином, що напруга на виході змінилося б не більше, ніж на допустиму величину  $\Delta U_n$ , тобто залишалося б приблизно постійним. Для цієї функції блок управління здійснює негативний зворотний зв'язок по напрузі.

Можливий режим аварійного відключення при спрацьовуванні термодатчика, який вимірює температуру. ПЕОМ пов'язана з мікро контролером через послідовний порт. При необхідності включити (виключити) пристрій ПЕОМ формує команду і по СОМ-порту передає її мікроконтроллеру. Останній формує необхідні керуючі сигнали і подає їх на відповідне виконавче пристрій для реалізації цієї операції. Через этот же порт осуществляется обратная связь.

Описаний вище принцип дії джерела живлення для лантан-боридного катода відображає схема алгоритму роботи пристрою на рисунку 1.7.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

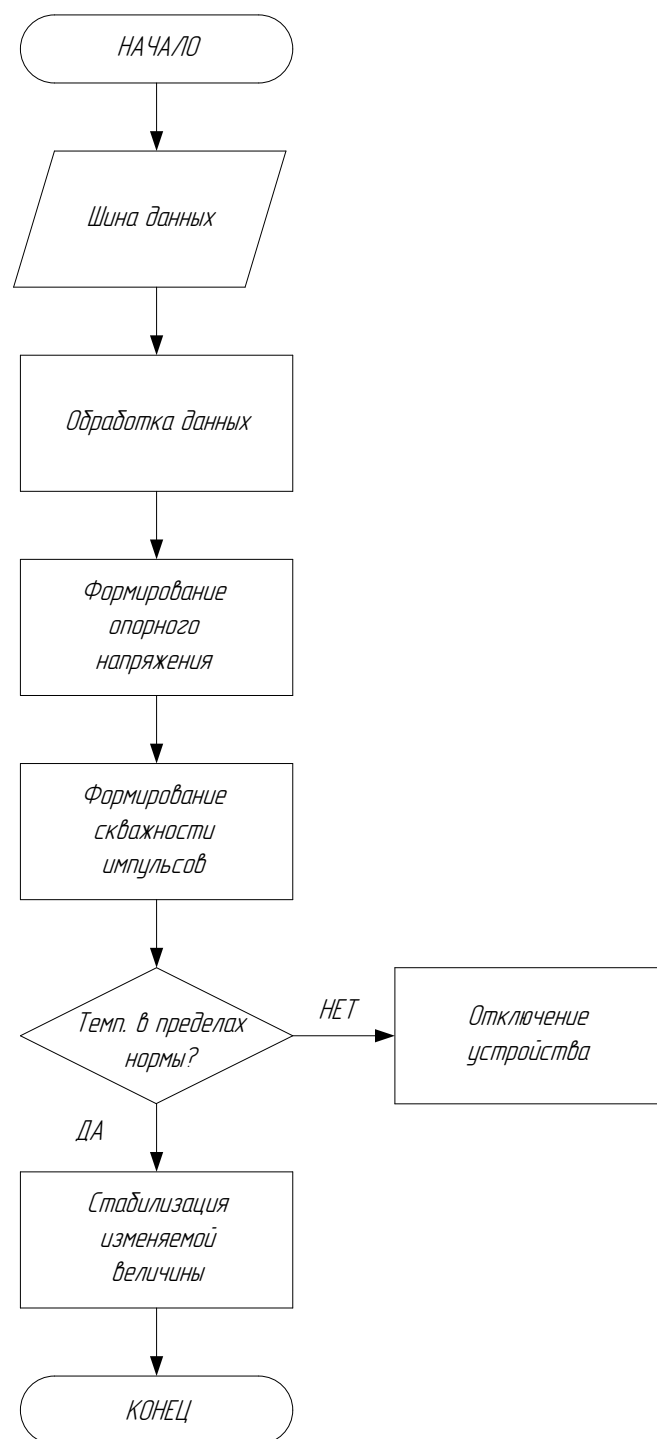


Рисунок 1.7 – Алгоритм функціонування пристрою

### 1.3 Розробка структурної схеми джерела живлення для лантан-

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

## боридних катодів електронного мікроскопа

Роботу джерела живлення для лантан-боридних катодів електронного мікроскопа можна представити таким чином.

Для організації управління всього пристрою в цілому в його склад повинен входити блок управління, представлений мікроконтролером, який організовує виконання пристроєм заданих функцій і здійснює зв'язок з керуючою ЕОМ, а також корекцію роботи відповідно до команд від ЕОМ.

По шині даних керуючі сигнали надходять з послідовного порту ЕОМ на мікроконтролер, який має три керуючих входу. Сигнали з СОМ-порту задають при юстування мікроскопа величину опорного напруги. З огляду на, що цей блок працює з цифровими даними, необхідно пристрій, який буде перетворювати аналогову напругу в цифровий код (використання АЦП).

Джерело опорної напруги, використовуючи задані параметри і еталонну напругу (джерело еталонної напруги), видає опорну напругу, яка надходить на сам стабілізатор напруги, до складу якого входить ШІМ-контролер і підсилювальний каскад (підсилювач потужності).

Основною функцією ШІМ-контролера є формування тривалості (шпаруватості) імпульсу. Змінюючи шпаруватість ШІМ, тим самим змінюється потужність, що підводиться. Коли імпульс становить 100% часу циклу режиму, маємо максимальну подачу потужності живлення.

Підсилювач потужності навантажений на котушку вихідного трансформатора під певним потенціалом і буде живити нитку розжарення.

Підсилювач неузгодженості визначає напругу помилки, яка повинна стабілізувати струм, щоб стабільність була близько 0,01%.

Буферний підсилювач пов'язаний з АЦП і вимірює струм, щоб АЦП не довантажувало контур зворотного зв'язку.

Крім того, присутній і захист каскаду від перевантажень, який відключить схему (використовується термодатчик).

Джерела живлення живлять всі вузли схеми.

Структурна схема джерела живлення для лантан-боридного катоду електронного мікроскопу показана на рисунку 1.8.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

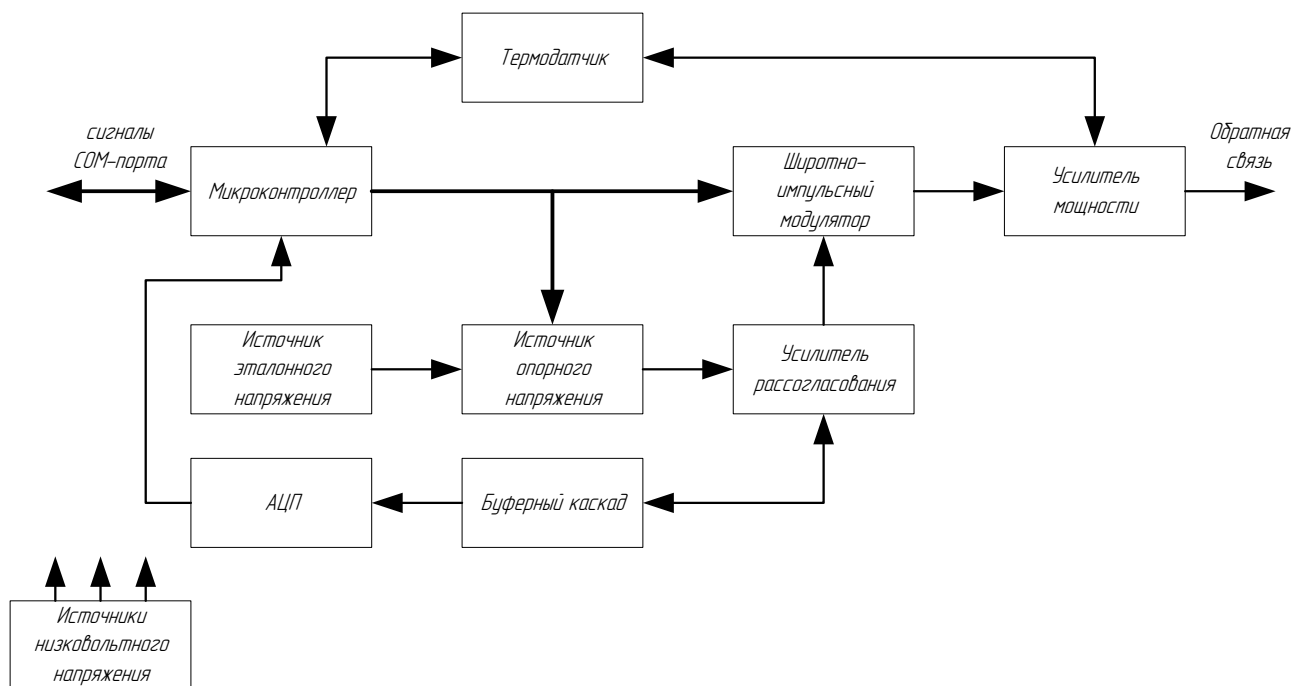


Рисунок 1.8 – Структурна схема програмованого джерела живлення для лантан-боридного катода

#### 1.4 Розробка схеми електричної функціональної джерела живлення для лантан-боридних катодів електронного мікроскопа

Згідно побудованої структурної схеми джерела живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопа побудуємо його схему електричну функціональну.

Управління пристроєм здійснюється за допомогою мікроконтролера з набором мікросхем ПЗУ і ОЗУ і дешифратором зовнішніх пристроїв по необхідності.

Формування напруг живлення відбувається за допомогою п'яти стабілізаторів напруги, нестабілізовані напруги на які подаються від вхідного роз'єму. Один стабілізатор напруги формує цифрове напруга живлення +5 В, ще три - аналогові напруги живлення + 12В і -12В, а на п'ятому реалізоване джерело еталонного напруги для цифрових мікросхем (на нього заводиться +12В від стабілізатора напруги).

Блок захисту від перегріву транзистора представлений термодатчиком. Вихід мікросхеми служить сигналом переривання для мікроконтролера.

Джерело еталонної напруги являє собою стабілізатор напруги і

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ доцм.	Подпись	Дата		

операційний підсилювач і є інвертуючим.

Стабілізований струм виходить на виході власне самого стабілізатора струму за допомогою ШІМ-контролера. На виході виходить імпульсний струм, який має стабільний середнє значення. Для отримання імпульсів струму використовується інтегратор на операційному підсилювачі, який поставлений на виході ЦАП.

Підсилювач неузгодженості будується на операційному підсилювачі, включеному по інвертирующей схемою. На інвертується вхід підсилювача подається опорна напруга.

Обмін даними з керуючої ЕОМ організовується по послідовному порту. Тому від мікроконтролера на вхідний роз'єм заводиться три керуючих виведення - два для організації інтерфейсу (RxD - прийняті дані, TxD - передані дані) і один для зовнішнього скидання джерела живлення (RST).

1.5 Розробка і розрахунок принципів електричних схем вузлів і блоків джерела живлення для лантан-боридних катодів електронного мікроскопа

**1.5.1 Вибір елементної бази.** . Джерело живлення для лантан-боридних катодів реалізовується на цифрових і аналогових інтегральних мікросхемах. Тому потрібно було визначитися з вибором виробників елементної бази. В результаті консультації на виробництві було прийнято рішення вибрати мікросхеми західного виробництва, з огляду на показники якості і малий відсоток браку в поставках, а не ціну мікросхем.

В якості керуючого мікроконтролера був обраний малоспоживаючий, швидкодіючий 8-розрядний мікроконтролер з 4 КБ Flash-пам'яті - AT89C4051-24PC.

При виробництві мікроконтролерів (МК) були використані Хай-Тек технології фірми Atmel. Зокрема, МК виготовлені згідно промислової рекомендації MCS-51™, яка поширюється і на цоколювку.

Однокристальну Flash-пам'ять можна програмувати як зсередини, так і ззовні (використовуючи програматор).

Сама пам'ять розташована на одному кристалі з процесором, що дозволило добитися максимальної продуктивності.

Мікроконтролер забезпечує наступні стандартні характеристики:

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

- 4 Кб Flash-пам'яті;
- 128 байт RAM;
- 32 лінії введення / виводу;
- два 16-бітових таймера / лічильника;
- п'ятівекторная дворівнева архітектура переривань;
- повний дуплексний послідовний порт;
- вбудований в кристал генератор;
- годинник.

Крім того, МК AT89C4051 - розробка «static logic», а отже, він працездатний аж до нульової частоти.

У режимі очікування процесор зупинений, але ОЗУ, таймер / лічильники, послідовний порт і система переривань продовжують функціонувати.

Режим «Power Down» зберігає вміст ОЗУ, але заморожує генератор, блокує всі інші функції МК, поки не буде здійснено апаратне скидання («Reset»).

TL494 і її подальші версії - найбільш часто використовувана мікросхема для побудови двотактних перетворювачів харчування.

TL494 (оригінальна розробка Texas Instruments) - ІС ШІМ-перетворювача напруги.

K1006EY4 - вітчизняний аналог TL494.

Блок-схема ШІМ-контролера показана на рисунку

1.9

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		





частоти залежно від напруги живлення – до 0,1% у всьому допустимому діапазоні.

Для дистанційного вимикання генератора можна зовнішнім ключем замкнути вхід Rt (6) на вихід джерела опорної напруги або замкнути Ct на землю. Зрозуміло, опір витоку разомкнутого ключа повинно враховуватися при виборі Rt, Ct.

Вхід контролю фази спокою (шпаруватості) через компаратор фази спокою задає необхідну мінімальну паузу між імпульсами в плечах схеми. Це необхідно як для недопущення наскрізного струму в силових каскадах за межами ІС, так і для стабільної роботи тригера - час перемикання цифровий частини TL494 становить 200 нс. Вихідний сигнал дозволений тоді, коли пила на Ct перевищує напруга на керуючому вході 4 (DT). На тактових частотах до 150 кГц при нульовому керуючому напрузі фаза спокою = 3% періоду (еквівалентну зміщення керуючого сигналу 100..120 мВ), на високих частотах вбудована корекція розширює фазу спокою до 200..300 нс.

Використовуючи ланцюг входу DT, можна задавати фіксовану фазу спокою (R-R дільник), режим м'якого старту (R-C), дистанційне виключення (ключ), а також використовувати DT як лінійний керуючий вхід.

АЦП AD7895 був обраний, виходячи з його характеристик: це швидкий 12-розрядний АЦП, що працює від живлення +5В. Вихідні дані з AD7895 передаються з високою швидкістю, через послідовний порт інтерфейсу. AD7895 має високу частоту дискретизації режиму.

При виборі ЦАП найбільш підходящим елементом є 12-розрядний ЦАП фірми Burr-Brown - DAC8043U. Коли він використовується мікропроцесорами, що мають послідовний порт, DAC8043 мінімізує цифрову перемичку шуму від свого входу до виходу.

Послідовний порт може бути використаний як аналогова шина і є неактивним, тоді як DAC8043 використовується. Послідовне поєднання зменшує складність опто- або трансформаторних додатків ізоляції.

Цей елемент включає в себе три дванадцятирозрядні елементи, що необхідно для реалізації необхідної точності. Характеристики цифро-аналогового перетворювача: однополярне живлення +5В; високошвидкісний,

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

послідовний цифровий інтерфейс; незалежність параметрів від температури; робочий температурний діапазон від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .

ЦАП DAC8043 має послідовний інтерфейс, що забезпечує обмін даними з частотою до 10 МГц. Будову DAC8043 показано на рисунку 1.10.

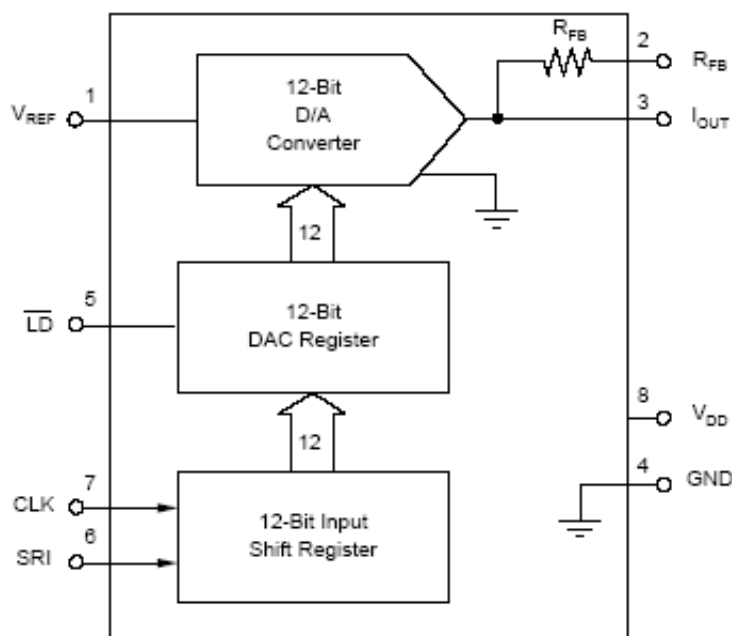


Рисунок 1.10 – Будова ЦАП DAC8043

Польовий транзистор, від якого буде змінюватися ширина імпульсу, для схеми стабілізації вибирається виходячи: з струму стабілізації, який дорівнює приблизно 5А; прилад повинен добре витримувати перевантаження.

Обрані польові транзистори тому, що вони мають більш швидкі показники, ніж біполярні, а це має велике значення, тому що транзистори відчують велику миттєву потужність під час переходу з закритого стану у відкрите.

Цим вимогам відповідає транзистор фірми International Rectifier Holdings Inc. IRFP360 (рисунок 1.11).

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Листм
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

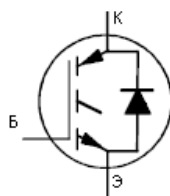


Рисунок 1.11 – Позначення транзистора IRFP360

Характеристики польового транзистора занесені в таблицю 1.2.

Таблица 1.2 – Характеристики транзистора IRFP360

Наименование показателей	Значение
Структура	n-канал с диодом
Максимальное напряжение $U_{cu}$ , В	400
Сопротивление открывания $R_{откр}$ , Ом	0,2
Максимальный ток $I_c$ , А	23
Максимальная мощность, Вт	280
Корпус	ТО-247АС

Для джерела еталонної напруги, джерела опорної напруги, підсилювача неузгодженості, буферного підсилювача був обраний операційний підсилювач ОРА2277UA виробництва компанії Burr-Brown. Він відрізняється низьким рівнем шуму, малим зміщенням, високим коефіцієнтом посилення і високим рівнем зниження шумів. Операційний підсилювач споживає малу потужність і має широкий діапазон живлячої напруги. Його технічні характеристики наведені в таблиці 1.3.

Таблица 1.3 – Технічні характеристики мікросхеми ОРА2277UA

Показатель	Значение
1	2
Напряжение питания, В	$\pm 2 \dots \pm 18$
Потребляемый ток, $\mu A$ /усилит.	$\pm 790$
Напряжение смещения, $\mu V$	$\pm 10$

Продовження таблиці 1.3

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

1	2
Дрейф смещения, $\mu\text{В}/^\circ\text{С}$	$\pm 0.1$
Коэффициент усиления, dB	134
Скорость нарастания выходного напряжения, В/ $\mu\text{с}$	0,8
Шум, dB/Гц	8
Коэффициент ослабления синфазного сигнала, min dB	115
Диапазон частот, МГц	1
Температурный диапазон, $^\circ\text{С}$	$-40\dots+85$
Дрейф смещения, $\mu\text{В}/^\circ\text{С}$	$\pm 0.1$

Для підсилювального каскаду, який включений з ШІМ-контролером, підійде звичайний n-p-n транзистор, наприклад, транзистор фірми Thompson BCW66H. Його характеристики наведені в таблиці 1.4.

Таблица 1.4 – Характеристики транзистора BCW66H

Напряжение КЭ, В	45
Напряжение КБ, В	75
Напряжение ЭБ, В	5
Ток коллектора, мА	800
Максимальный ток коллекторы, А	1
Ток базы, мА	100
Максимальный ток базы, мА	200
Потребляемая мощность, мВт	330
Рабочий диапазон температур, $^\circ\text{С}$	$-65\dots+150$

Оскільки досить часто на практиці виникає завдання термо-стабілізації будь-якого об'єкта, раніше для вирішення цього завдання була потрібна досить громізка аналогова схема, яка містить кілька десятків елементів. В даний час таке завдання може бути вирішена значно простіше. Якщо необхідна точність підтримки температури становить одиниці градусів, а робоча температура не виходить з діапазону  $-55\dots+125^\circ\text{С}$ , то вона може бути вирішена за допомогою цифрового термометра / термостата DS1821.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

Мікросхема DS1821, що випускається фірмою Dallas (тепер це вже MAXIM), може працювати в режимі термометра або в режимі термостата. У першому з цих режимів DS1821 забезпечує вимір температури в діапазоні  $-55 \dots + 125 \text{ }^{\circ}\text{C}$  з дискретністю  $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Найпривабливішим є те, що такий термометр вже відкалібрований на заводі, гарантована точність становить  $+ 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  в діапазоні  $0 \dots + 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$  і  $+ 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  у всьому діапазоні робочих температур.

Типова крива помилки вимірювання температури наведена на рисунку 1.12.

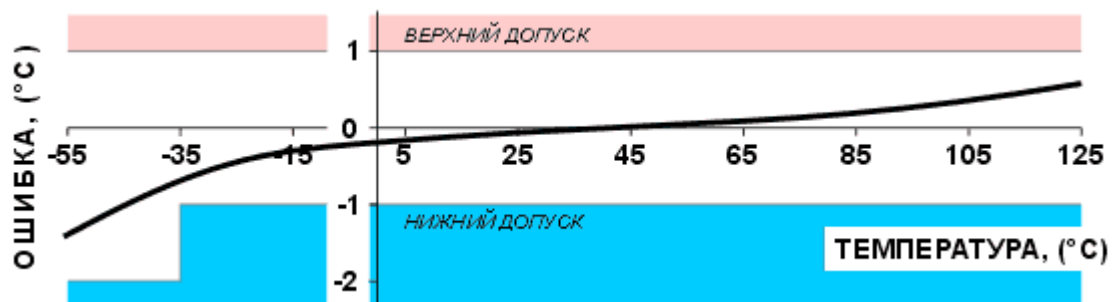


Рисунок 1.12 – Типова крива помилки термометра DS1821

Зчитування показників проводиться за допомогою однопровідного інтерфейсу (1-Wire™) фірми Dallas, тому даний режим ще називають однопровідним. Температура зчитується як 8-бітове число в додатковому коді. Наприклад,  $+125 \text{ }^{\circ}\text{C}$  відповідає код 7Dh,  $+ 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  - 19h,  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  - 00h,  $-1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  - FFh,  $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  - E7h,  $-55 \text{ }^{\circ}\text{C}$  - C9h, аналогічно для інших значень температури.

За допомогою спеціальних команд DS1821 може бути переведена в режим термостата, коли висновок даних стає керуючим виходом. При роботі в режимі термостата вимірювання температури йдуть постійно, кожне виміряне значення порівнюється з порогами, збереженими в незалежній пам'яті. Ці пороги задають необхідний гистерезис характеристики регулювання (рисунок 1.13).

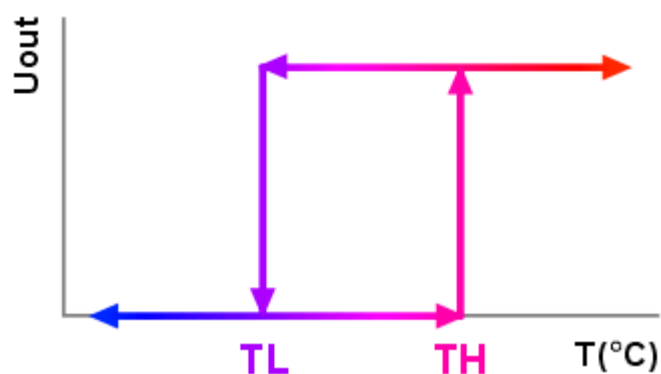


Рисунок 1.13 – Гистерезис характеристики регулювання термостата

Полярність вихідного сигналу програмується за допомогою біта POL регістра статусу. Коли температура перевищує поріг, збережений в регістрі TH, вихід переходить в активний стан. Зворотний перехід відбудеться тоді, коли температура стане нижче порога TL. Вихід термостата являє собою вихід з відкритим стоком, який допускає вхідний струм до 4 мА.

Для проведення програмування DS1821 повинен перебувати в однопровідному режимі. У такому режимі термометри поставляються виробником. У DS1821 всього доступно 4 регістри: TH, TL, регістр температури і регістр статусу. Перших два регістри служать для збереження порогів термостата. Регістр температури може бути лічений для отримання результату останнього вимірювання температури. Регістр статусу задає режим роботи DS1821 і дозволяє визначити його стан.

**1.5.2 Розрахунок і синтез основних електричних вузлів, блоків, схем управління.** Згідно з розробленою функціональній схемі блок формування напруги повинен забезпечити на виході стабілізовану значення напруг живлення для цифрових і аналогових мікросхем проектного пристрою, тобто +12, -12В для аналогових мікросхем і +5 В - для цифрових. Для цього використовується нестабілізована напруга  $\pm 15\text{В}$  від блоку живлення РЕМ.

Для отримання стабілізованої напруги живлення пропонується використовувати інтегральні стабілізатори напруги. Оскільки до складу пристрою входить велика кількість мікросхем, кожна з яких споживає струм від десятків до сотні міліампер, то стабілізатор напруги повинен забезпечувати на виході струм в кілька ампер, що для мікросхем російського

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

виробництва досить проблематично при виділяємій потужності більш 1Вт. Тому в якості стабілізаторів використовуються мікросхеми західних виробників: мікросхеми LM340-S05 і LM3480 для отримання +5, LM340-S12 для отримання +12 і LM2990S-12 для 12В. Фірма National Semiconductor давно себе зарекомендувала на ринку такого роду мікросхем як один з провідних розробників і виробників. Включення інтегрального стабілізатора напруги для забезпечення параметрів, заявлених виробником має бути таким, як показано на рисунку 1.14.

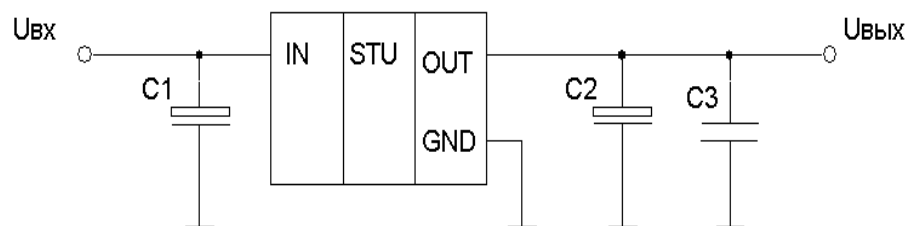


Рисунок 1.14 – Схема включення інтегрального стабілізатора напруги

Наявність конденсаторів C1-C3 необхідно для придушення шумів і поліпшення перехідних процесів, а також утримання повного вихідного опору на низькому рівні при високих частотах.

Для згладжування вхідної напруги включається Г-подібний LC-фільтр. Його оптимальні параметри визначаються практичним побудовою подібних схем на виробництві та складають:  $L_{\phi} = 100$  мГн,  $C_{\phi} = 100$  мкФ.

Також для захисту мікросхем в разі наведення на виході стабілізатора ставляться діоди VD12, VD13 в зворотному включенні. Тоді в разі зміни полярності напруги при наведенні вихідна напруга не перевищить падіння напруги на відкритому р-п переході.

Для згладжування пульсацій напруги в ланцюзі живлення і забезпечення мікросхем при перемиканні необхідною енергією в ланцюг живлення включається набір з конденсаторів: електролітичні - для роботи на низькі частотах і керамічні - для роботи на високих. Їх ємність береться величиною в 10мкФ для електролітичного і 0,1мкФ - для керамічного.

Схема джерела еталонної напруги показана на рисунку 1.15.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		



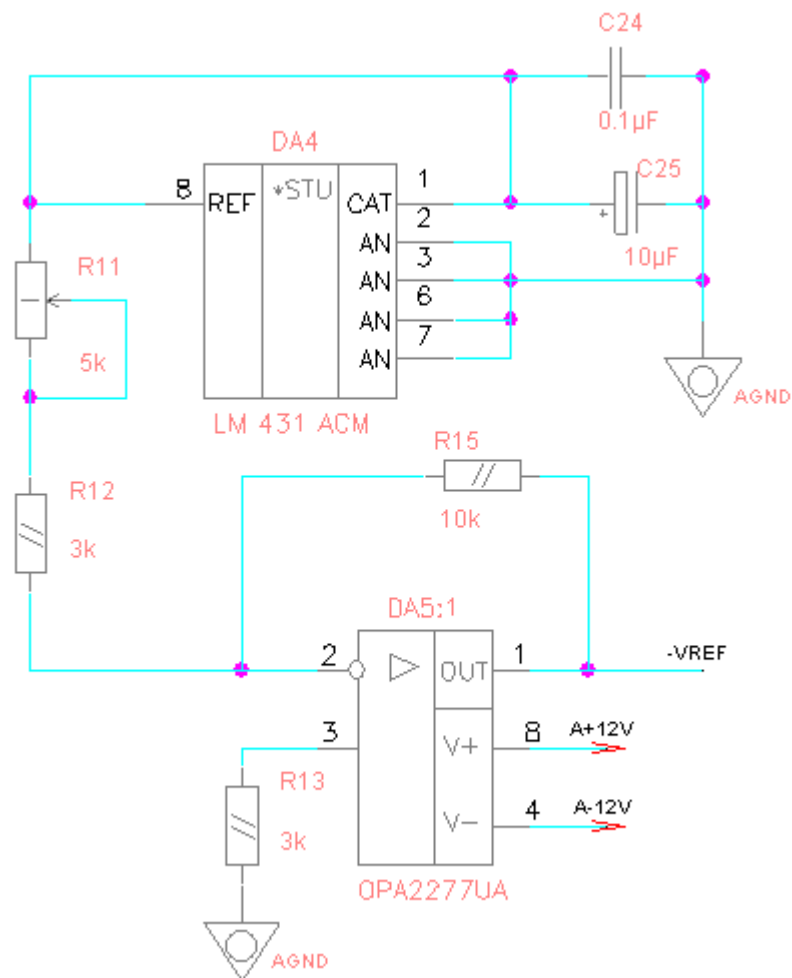


Рисунок 1.15 – Схема джерела еталонної напруги

Оскільки номінали резисторів R12 і R15 різні (3 кОм і 10кОм відповідно), то операційний підсилювач OPA2277UA використовується в неінвертуючому включенні. Змінний резистор R11 необхідний для точного встановлення режиму роботи джерела еталонного напруги. Його величина повинна забезпечувати корекцію номіналів резисторів в межах похибки (5%), а це:

$$R11 = R12 \cdot 0,05 = 1000 \cdot 0,05 = 500 \text{ Ом.} \quad (1.3)$$

Для повноцінного функціонування ЦАП, крім напруги живлення необхідна опорна напруга, на яку буде множитися вага вхідного коду ЦАП і

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

видавати відповідне на виході. При цьому використовувати  $U_{оп}$  постійного значення неефективно, більш переважно побудувати програмований джерело опорного напруги, який дозволить регулювати величину  $U_{оп}$  від 0 до  $U_{опmax}$ . Фактично відбувається подвійне управління вихідною напругою ЦАП: за рахунок вхідного коду і за рахунок  $U_{оп}$ . До того ж для відключення інших ЦАП можна не використовувати висновок CS, а зробити його активним, але відключати ЦАП встановлюючи  $U_{оп}$  рівним нулю. При цьому не потрібно використовувати додаткові висновки портів мікроконтролера, але при цьому будуть відключатися все ЦАП одночасно.

Схема джерела опорної напруги показана на рисунку 1.16.

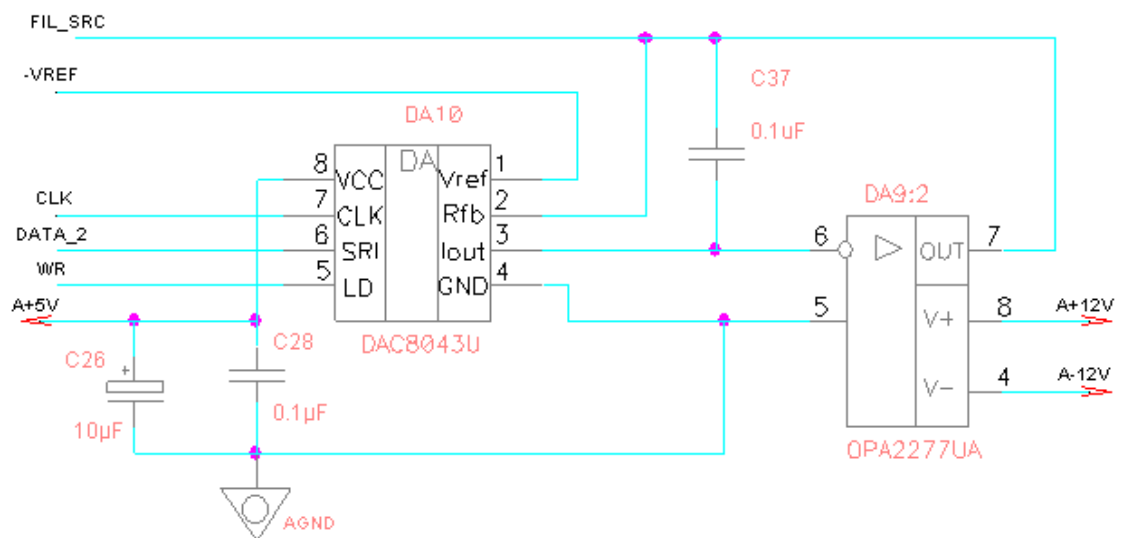


Рисунок 1.16 – Схема джерела опорної напруги

Програмоване джерело опорної напруги вимагає постійної або пульсуючої вхідної напруги. В якості такого бажано використовувати вихідну напругу від інтегрального стабілізатора напруги. При чому відповідно до параметрів вихідних струмів пристрою не потрібна напруга + 12В, а +5 недостатньо. Тоді можливо реалізувати параметричний стабілізатор напруги, а для отримання малого вихідного опору використовувати операційний повторювач, як повторювач напруги.

Далі вихідні ланцюги, що формують вихідний струм, нічим не відрізняються - це інтегратори напруги, реалізовані на операційних

ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ					Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата	

підсилювачах. В якості операційного підсилювача також використовується ОРА2277 (одне з його основних призначень є реалізація на ньому прецизійних інтеграторів).

Узагальнена схема такого інтегратора представлена на рисунку 1.17.

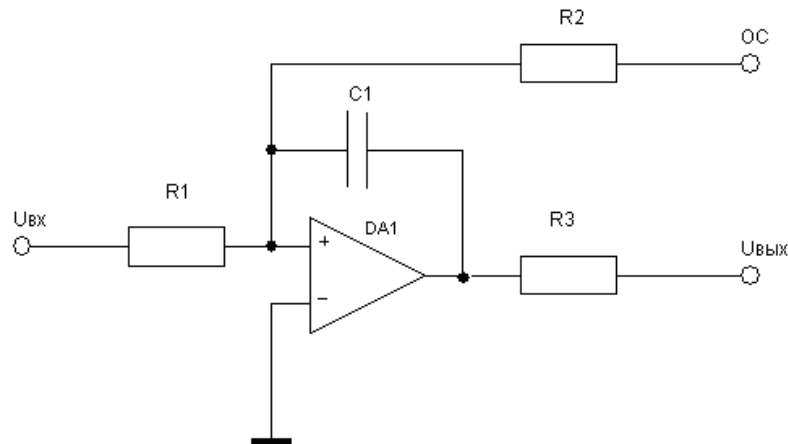


Рисунок 1.17 – Узагальнена схема підсилювача неузгодженості

В даній схемі підсилювач прагне врівноважити значення  $I_{оп}$  і  $I_{ос}$ . Оскільки вхідний опір операційного підсилювача величезний, можна говорити про опорну напругу і напругу зворотного зв'язку.

$$U_{ос} = I_{накала} \cdot R_{ос} \quad (1.4)$$

$$I_{накала} = -U_{эт} \cdot \frac{N_x}{N_{макс}}, \quad (1.5)$$

де  $N_x$  – число в діапазоні від 0 до 4095;

$N_{макс}$  – максимальне значення (4095).

DAC8043 містить 12-розрядний регістр зсуву з послідовним входом і паралельним виходом, 12-розрядний регістр ЦАП, 12-розрядний CMOS ЦАП і керуючу логіку. Послідовне введення (SRI) даних синхронізовано при зростаючому імпульсі (CLK). Коли нові дані були синхронізовані, вони завантажуються в ЦАП при низькому вхідному рівні LD. Дані в регістрі ЦАП

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ доцм.	Подпись	Дата		

перетворено в вихідну напругу перетворювача D / A.

Згідно з розробленою функціональною схемою до складу блоку індикації стану входить два світлодіода: один зелений - для індикації стану системи і один червоний - для індикації аварійного стану (тепловий перегрів) пристрою. Для управління світлодіодами використовуються висновки порту мікроконтролера, з'єднані через струмообмежуючі резистори. Схема такого включення представлена на рисунку 1.18.

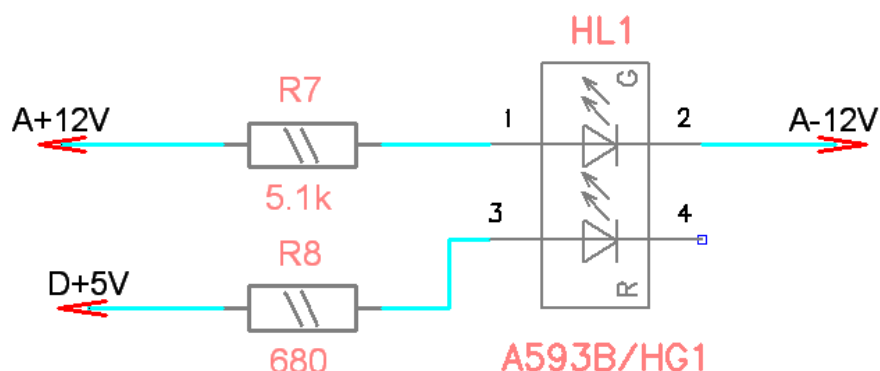


Рисунок 1.18 – З'єднання світлодіодів з портом мікроконтролера

Блок управління можна реалізувати у вигляді мікропроцесора з набором мікросхем пам'яті (ОЗУ і ПЗУ) або у вигляді мікроконтролера. У нашому випадку більш вигідно використовувати мікроконтролер. Серед мікроконтролерів робиться вибір на користь мікроконтролерів на базі i8081, виходячи з таких причин:

1. Перевірена часом архітектура - індустріальний стандарт, який використовується понад 20 років.
2. Система команд, орієнтована на завдання управління.
3. Величезна кількість фірм, які виробляють сумісні мікросхеми.
4. Наявність моделей з поліпшеними швидкісними і іншими характеристиками.
5. Наявність великої кількості фірм-виробників програмного забезпечення (асемблеров, компіляторів, отладчиков).

Такі мікроконтролери випускаються багатьма фірмами зі всілякими вбудованими доповненнями. Для реалізації даного пристрою вибирається

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

мікроконтролер фірми Atmel AT89C4051. Його тактова частота складає від 0 до 24 МГц, заснований на класичному ядрі MCS-51, має 2 входи зовнішніх переривань, 2 рівня переривань, 2 паралельних порту по 8 біт кожен, харчується від 4-6 В.

Цоколювка для P-DIP корпусу такого мікроконтролера показана на рисунку 1.19.

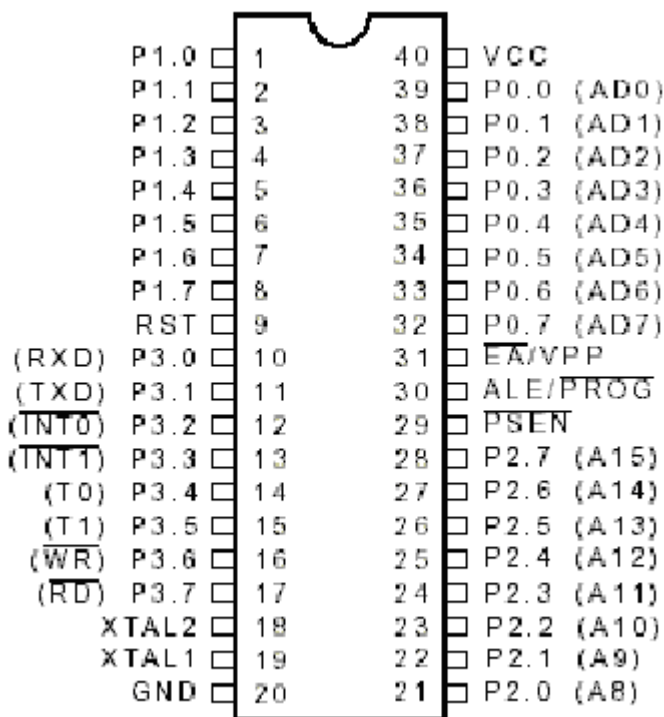


Рисунок 1.19 – Цоколювка мікроконтролера

Опис виводів:

Vcc - напруга живлення.

GND - загальний провід.

Port 0 - порт 0: 8-бітний відкритий двонаправлений порт введення / виводу. На кожен вихід цього порту можна навантажити вісім входів TTL.

При записи логічного «1» в порт 0 контакти порту можуть бути використані як високоімпедансних входи. Крім цього порт 0 може бути налаштований як мультиплексируємий молодший адрес або шина даних, під час звернень до зовнішньої програми або пам'яті даних. В цьому режимі порт 0 використовує внутрішню напругу.

Також, під час програмування Flash на порт 0 надходять байти коду. Він

же їх і виводить під час верифікації програми. Напруга програмування UPP потрібна і при верифікації даних.

Port 1 - порт 1: двонаправлений порт введення / виводу на 8 бітів зі внутрішньою напругою живлення. Вихідний буфер порту 1 може бути навантажений на чотири входу / виходу TTL. При записи логічного «1» в порт 1 контакти порту можуть бути використані як входи. Так як порт 1 використовує внутрішню напругу живлення, рівень споживаного струму ззовні буде мінімальний. Також при програмуванні Flash на порт 1 надходять молодші біти адреси. Теж саме відбувається і під час верифікації.

Port 2 - порт 2: двонаправлений порт введення / виводу на 8 бітів зі внутрішньою напругою живлення. Вихідний буфер порту 2 може бути навантажений на чотири входу / виходу TTL. При записи логічного «1» в порт 2 контакти порту можуть бути використані як входи. Так як порт 2 використовує внутрішню напругу живлення, рівень споживаного струму ззовні буде мінімальний. Порт 2 видає старший байт адреси під час вибірки з зовнішньої пам'яті програм і під час доступів до зовнішньої пам'яті даних, які використовують 16-бітові адреси (MOVX DPTR). В цьому випадку при логічної «1» більш високе споживання струму від внутрішнього джерела. Під час доступів до зовнішньої пам'яті даних, які використовують 8-бітові адреси (MOVX @ R1), порт 2 видає вміст спеціального функціонального регістру P2. Порт 2 також приймає старші біти адреси і деякі керують сигналам під час програмування Flash і під час перевірки.

Port 3 - порт 3: 8-бітний двонаправлений порт введення / виводу.

Виходи порту 3 можуть бути навантажені на чотири входи TTL. При записи логіческой «1» в порт 3 контакти порта можуть бути використані як входи. Порт 3 також забезпечує виконання різних спеціалізованих функцій AT89C4051, як зазначено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Функції порту 3 мікроконтролера

№ порта	Альтернативная функция
P3.0	RXD (Принимаемые данные последовательного порта)
P3.1	TXD (Передаваемые данные последовательного порта)
P3.2	$\overline{INT0}$ (Внешнее прерывание 0)

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

P3.3	$\overline{INT1}$ (Внешнее прерывание 1)
P3.4	T0 (внешний вход таймера 0)
P3.5	T1 (внешний вход таймера 1)
P3.6	$\overline{WR}$ (Внешний строб записи)
P3.7	$\overline{RD}$ (Внешний строб чтения)

Порт 3 виконує функції деяких керуючих сигналів для програмування Flash і для верифікації програмування.

RST - вхід скидання (Reset). Щоб скинути пристрій, необхідно подати сигнал логічної «1» на час двох машинних тактів. В цей час генератор скине пристрій.

$\overline{ALE/PROG}$  - Address Latch Enable - дозвіл блокування адреси. Защелкивает імпульсом молодший байт адреси на час доступу до зовнішньої пам'яті. Цей контакт також є входом імпульсу під час програмування Flash. Нормальний ALE сигнал повинен бути виданий при постійному показнику - 1/6 частоти генератора, і може бути використаний для зовнішньої синхронізації. Примітка: проте, один імпульс ALE повинен бути пропущено під час кожного доступу до зовнішньої пам'яті даних.

Якщо необхідно, ALE управління може бути заблоковано установкою біта 0 в позиції SFR 8EH. З встановленим бітом, ALE активно тільки під час команд MOVX або MOVC. В іншому випадку - високий рівень сигналу на контакті. Установка Сигнал ALE не дасть ефекту, якщо МК в режимі зовнішнього виконання.

$\overline{PSEN}$  - Program Store ENable - строб читання для зовнішньої пам'яті програм. Коли AT89C51 виконує програмний код із зовнішньої пам'яті, активізується кожен другий машинний цикл, за винятком тих випадків, коли два сигналу проскакують під час кожного доступу до зовнішньої пам'яті даних.

EA / VPP - External Access enable - дозвіл зовнішнього доступу.

Щоб вибирати код з зовнішніх програмних позицій пам'яті, що знаходяться в діапазоні від 0000H до FFFFH, необхідно закоротити цей контакт на загальний провід (GND). Примітка: проте, якщо перший біт замку запрограмований, замкнений безпосередньо на скиданні. необхідно замкнути на VPP, якщо потрібно виконати внутрішнє програмування. Цей контакт, також повинен

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Листм
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

бути замкнений на VPP під час програмування Flash. VPP = + 12 В.

XTAL1 і XTAL2 - інвертовані вхід і вихід підсилювача, який може бути налаштований на роботу з вбудованим в МК генератором, як показано на рисунку 1.20. Використано кварцовий резонатор.

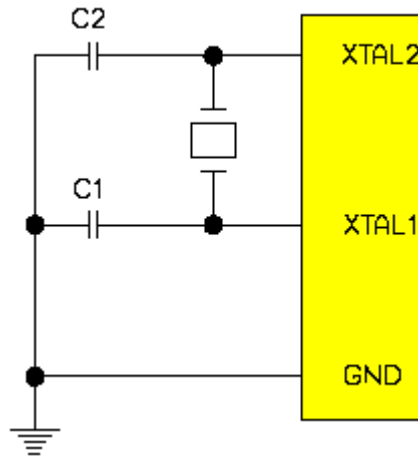


Рисунок 1.20 – Схема включення кварцового резонатора к АТ89С4051

В якості кварцового резонатора вибирається Q-22.1184MHz-30pF-30/30.

Для забезпечення автоматичного скидання мікроконтролера при подачі живлення використовується схема включення, показана на рисунку 1.21.

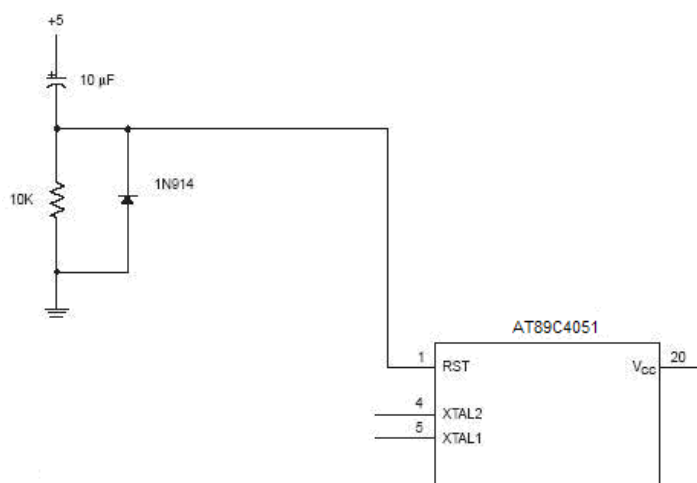


Рисунок 1.21 – Схема задавання ланцюга початкового скидання АТ89С4051

При роботі пристрою буде здійснюватися циклічний обмін даними з УЕВМ. Для цього будуть використовуватися послідовний порт мікроконтролера (тобто виводи RxD, TxD і RST). Для захисту цих виводів від

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		



наведень із зовнішнього ланцюга використовується наступне включення виводів RxD, TxD і RST (рисунок 1.22).

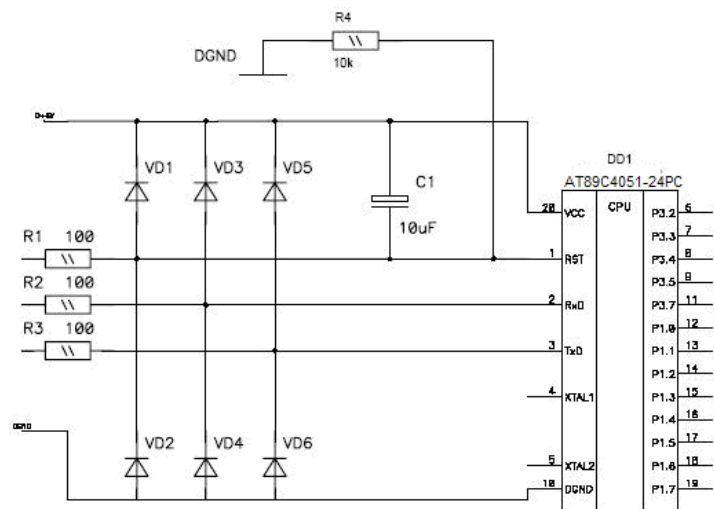


Рисунок 1.22 – Схема включення виводів AT89C4051

На рисунку 1.23 показано позначення мікросхеми TL494CD.

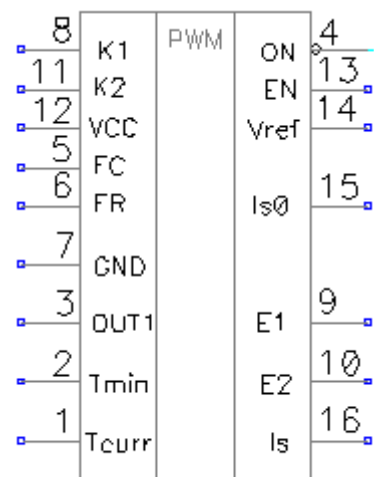


Рисунок 1.23 – Позначення мікросхеми TL494CD

Ця мікросхема за рахунок звуження і розширення прямокутних імпульсів змінює потужність, що віддається в силовий трансформатор, і тим самим виконує роль стабілізатора і регулятора напруги.

Керуючі імпульси з виходів 9 і 10 надходять на вхід управління верхнім

і нижнім польовими транзисторами IRFP360. Навантаженням на виходи TL494CD є два резистора R54 і R55.

Задаючий генератор, на якому працює блок живлення, визначається ємністю конденсатора, підключеного до входу 5 TL494CD і підлаштовуючим резистором, підключеним до входу 6.

Керуючі трансформатором польові транзистори під час своєї роботи повинні між імпульсами закриватися обидва. Це пов'язано з тим, що транзистори не можуть миттєво закритися і тим самим з'явиться наскрізний струм, коли верхній транзистор ще не повністю закрився, а нижній вже почав відкриватися, і тому може піти прямий струм відразу через два транзистора і тим самим вивести їх з ладу. Для цього на вхід 4 TL494CD подається напруга, що задає цей мінімальний зазор між імпульсами.

Конденсатор C49 збільшує ширину імпульсів трансформатором.

Ширина імпульсів з виходів TL494CD регулюється в залежності від напруги, поданого на вхід 3. Ця напруга подається від стабілізатора напруги мікросхеми TL494CD з виходів 13 і 14. Чим швидше цикл відкриття або закриття транзисторів, тим більше їх здатність навантаження. Польові транзистори мають паразитної ємністю сток-затвор, і тому мають загальмовують дією під час керування.

Резистори, включені в затвори транзисторів, запобігають надмірно великому струму.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

## 1.6 Висновки

У спеціальній частині була поставлена задача на проектування пристрою і сформульована тема дипломного проекту.

Були проаналізовані за літературними джерелами шляхи і способи реалізації завдання проектування і сформульовані вимоги до проектованого пристрою.

В процесі проектування був розроблений алгоритм роботи джерела живлення для лантан-боридних катода електронного мікроскопа. На основі алгоритму було визначено необхідний функціональний склад джерела живлення для лантан-боридного катода електронного мікроскопа, а також розроблена структурна і функціональна схеми пристрою.

Проведено вибір елементної бази і синтез основних електронних вузлів і блоків.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Є. Л. Онанченко, Г. П. Міровіцкий, А. І. Новгородцев Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра електроніки для студентів спеціальності 6.090803 «Електронні системи» денної та заочної форм навчання, - Суми; СумДУ, 2000.

2. Електроніка та мікросхемотехніка [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» / А. А. Щерба, К. К. Побєдаш, В. А. Святненко: –Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 360 с.

3. Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп'ютерних технологій: Навч. посіб. /Щерба А.А., Рябенський В.М., Кучеренко М.Є., Побєдаш .К.К. та ін. –К.: "Корнійчук", 2007, - 488 с. з іл.

4. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум: Навч. посіб. 2-е вид. – К.: Каравела, 2004, - 432 с.

5. Зубчук В.І. та ін. : Довідник по цифровій схемотехніке.- К. : Техніка, 1990.- 448 с. : іл.

6. Ашкинази Л.А. Материалы электронных эмиттеров: Учебное пособие. – Москва, 2007.

7. Электроника и схемотехника. Кучумов А.И., 2004.

8. Основи схемотехніки електронних систем: Підручник /В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.І.Жуйков та ін. – К.: Вища шк., 2004.

9. Электроника и схемотехника. Кучумов А.И., 2004.

10. Энциклопедия устройств на полевых транзисторах. Дьяконов В.П., 2002.

11. Букреев И.Н., Горячев В.И., Мансуров Б.М Микроэлектронные схемы цифровых устройств (2009).

12. Безуглов Д.А., Калиенко И.В. Цифровые устройства и микропроцессоры (2008).

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

13 Д.Д.Несмелов, С.С.Орданьян Катодные материалы для термоэлектронной эмиссии на основе эвтектических систем, содержащих гексаборид лантана. 2015г.

13. [www.ti.com](http://www.ti.com).

14. [burr-brow.com](http://burr-brow.com).

15. [www.atmel.com](http://www.atmel.com).

16. ГОСТ 2.105-95.

					ЦЗДВН 6.05080202.839 ПЗ	Лист
Изм.ю	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		